

**Herzlich Willkommen**  
**Bienvenue**  
**Welcome**

The background of the slide features a photograph of a JUMO building on the left, with a blue sky and white clouds. The right side of the slide has a dark blue background with a faint world map. The title text is overlaid on this background.

## **Volumenbestimmung in Tanks aufgrund statischer Druckmessung**

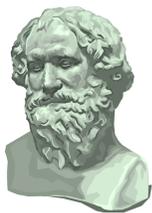
- Vergleich mathematische und praktische Vorgehensweise

**Manfred Schleicher**

# Information zu dieser Präsentation



- In der Praxis wird das Volumen in Tanks häufig über eine statische Druckmessung am Tankboden bestimmt
- Zur Ermittlung des Volumens ist eine Umrechnung erforderlich
- In dieser Präsentation wird an zwei Beispielen gezeigt, wie die Umrechnung erfolgt
- Die Präsentation zeigt die Umrechnung streng mathematisch und gibt zum Vergleich eine Vorstellung, wie diese in der Praxis realisiert wird

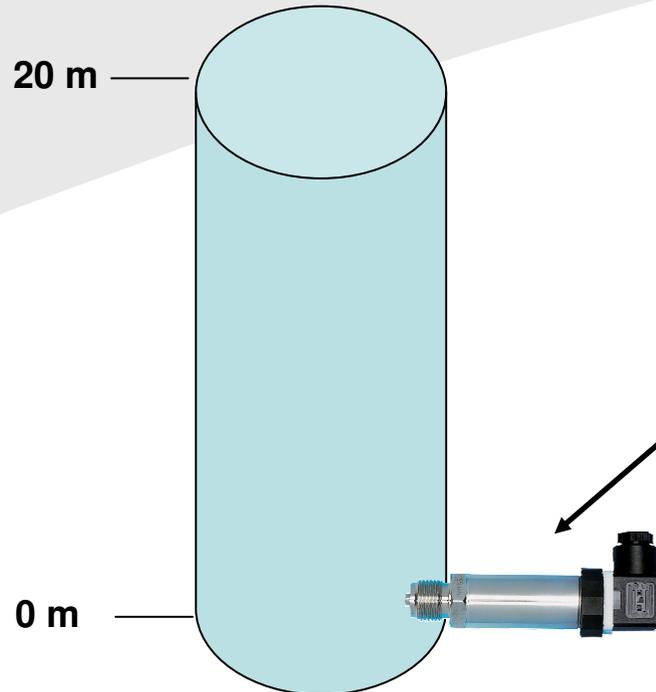


# Grundlagen

Niveau aus statischem Druck



- **Mit einer Druckmessung kann das Niveau in einem Behälter bestimmt werden**
- **Bei Flüssigkeiten mit einer Dichte von 1 (kg/l) nimmt der Druck bei 10m Säule um 1 Bar zu**



## ▪ **JUMO Druckmessumformer misst Druck:**

- 0 Bar entspricht 0 m Niveau
- 1 Bar entspricht 10 m Niveau
- 2 Bar entspricht 20 m Niveau



# Grundlagen

Niveau aus statischem Druck



- **Bei Flüssigkeiten mit einer Dichte von 1 gilt der Zusammenhang:**

$$\text{Niveau[m]} = \frac{\text{Druck[Bar]}}{\text{Bar}} \cdot 10\text{m}$$



# Grundlagen

## Volumen aus Niveau



- **Im Fall von Behältern, für die gilt: Volumen=Grundfläche x Niveau (stehende Zylinder, Quader etc.) kann entsprechend einfach das Volumen berechnet werden:**

$$\text{Volumen}[\text{m}^3] = \frac{\text{Druck}[\text{Bar}]}{\text{Bar}} \cdot 10\text{m} \cdot \text{Grundfläche}[\text{m}^2]$$

- **Handelt es sich beispielsweise um einem zylinderförmigen Tank mit einer Grundfläche von 9m<sup>2</sup>, ergibt sich folgende Gleichung:**

$$\text{Volumen}[\text{m}^3] = \frac{\text{Druck}[\text{Bar}]}{\text{Bar}} \cdot 10\text{m} \cdot 9\text{m}^2$$

- **Vereinfacht:**

$$\text{Volumen}[\text{m}^3] = \frac{\text{Druck}[\text{Bar}]}{\text{Bar}} \cdot 90\text{m}^2$$

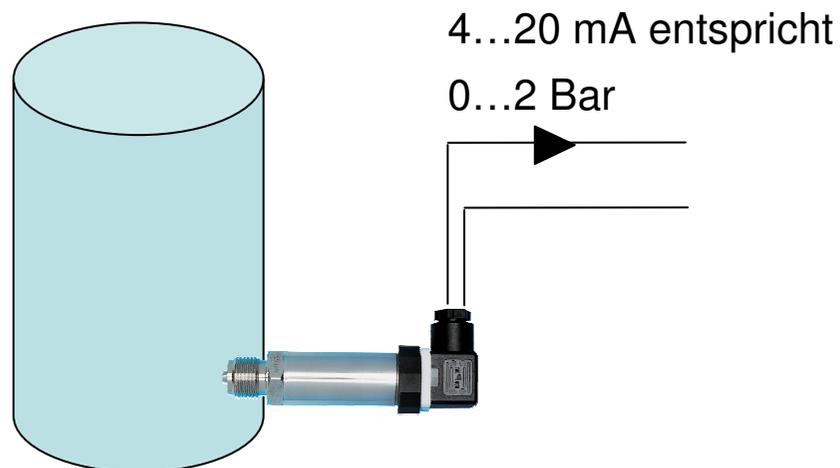


# Grundlagen

Druck aus Stromsignal



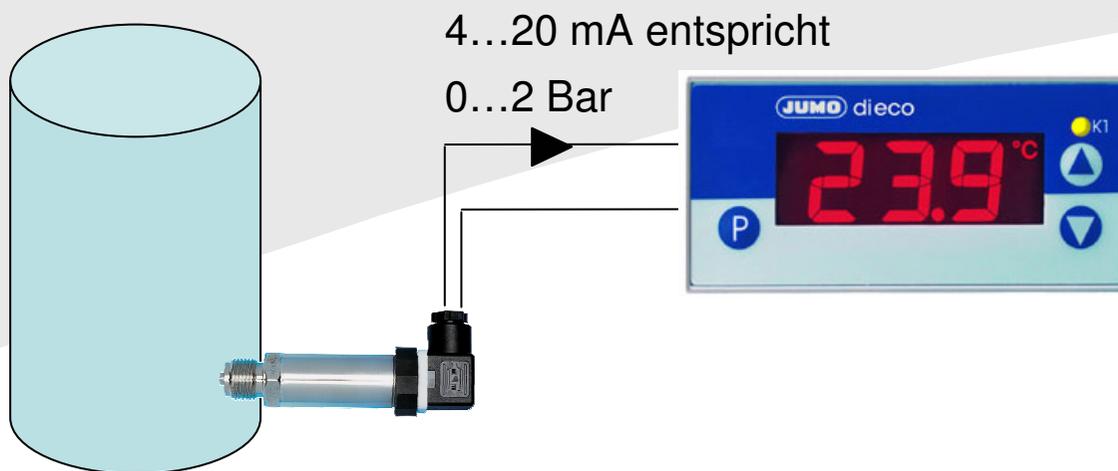
- **Druckmessumformer übermitteln den Druck mit einem Stromsignal (meist 4...20mA)**
- **Denkbar wäre, dass der Messumformer ein Signal von 4...20 mA ausgibt, was einem Druck von 0...2 Bar entspricht**
- **Im Beispiel gilt die Zuordnung:**
  - 4 mA → 0 Bar
  - 20mA → 2 Bar
  - 12mA → 1 Bar



# Berechnung des Volumen



- **Das Volumen soll beispielsweise mit einem Anzeiger dargestellt werden**



- **Der Anzeiger muss aus dem Stromsignal das Volumen bestimmen...**



# Volumenbestimmung mit Formel

Mathematische Vorgehensweise



- **Die Formel, welche in unserem Fall aus dem Stromsignal den Druck berechnet lautet:**

$$\text{Druck[Bar]} = \frac{\text{Strom[mA]} - 4\text{mA}}{16\text{mA}} \cdot 2\text{Bar}$$

- **Die Formel für den Druck eingesetzt in Gleichung für das Volumen ...**

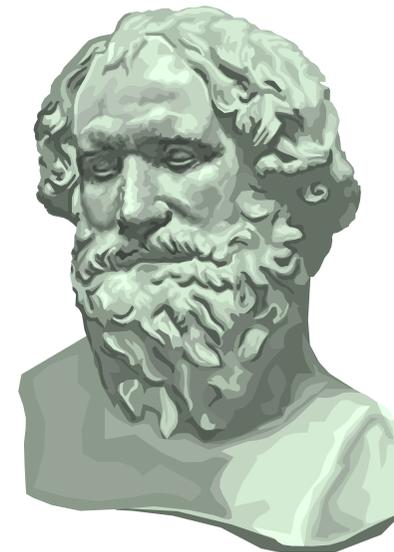
$$\text{Volumen[m}^3] = \frac{\text{Druck[Bar]}}{\text{Bar}} \cdot 90\text{m}^2$$

- **...ergibt...**

$$\text{Volumen[m}^3] = \frac{\text{Strom[mA]} - 4\text{mA}}{16\text{mA}} \cdot \frac{2\text{Bar}}{\text{Bar}} \cdot 90\text{m}^2$$

- **oder Zusammengefasst...**

$$\text{Volumen[m}^3] = \frac{\text{Strom[mA]} - 4\text{mA}}{16\text{mA}} \cdot 180\text{m}^3$$



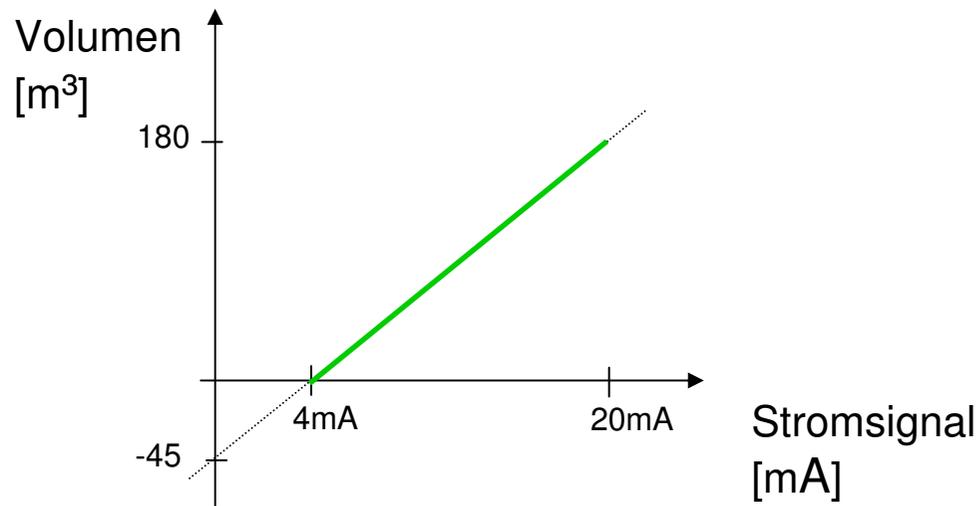
# Praktische Vorgehensweise



- Die Gleichung zur Bestimmung des Volumens ist linear, lediglich ein Offset liegt vor:

$$\text{Volumen [m}^3\text{]} = \frac{\text{Strom [mA]} - 4\text{mA}}{16\text{mA}} \cdot 180\text{m}^3$$

$$\text{Volumen [m}^3\text{]} = \frac{\text{Strom [mA]}}{16\text{mA}} \cdot 180\text{m}^3 - \frac{4\text{mA}}{16\text{mA}} \cdot 180\text{m}^3$$

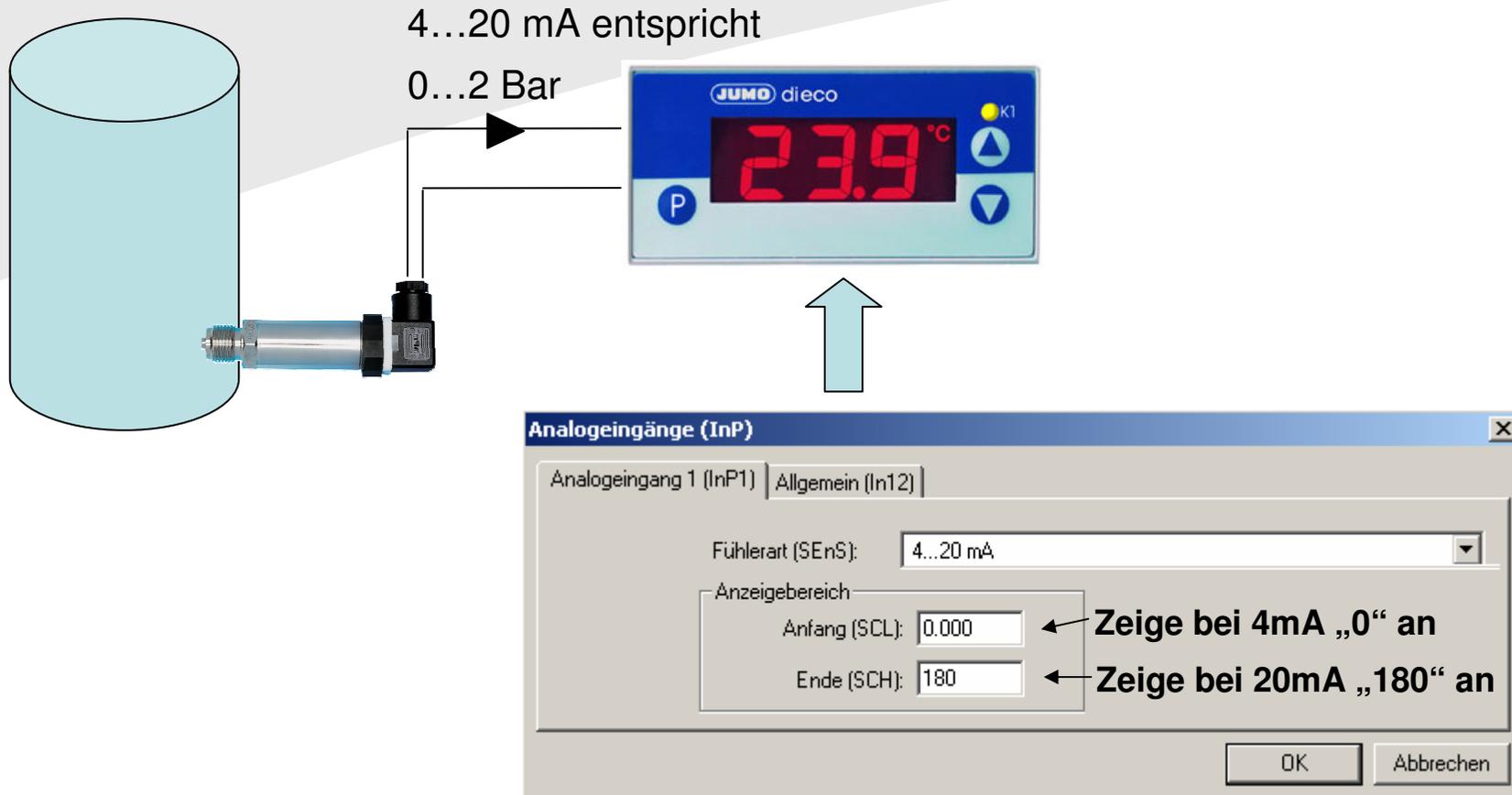


# Praktische Vorgehensweise

Definition der Kennlinie über zwei Punkte



- **Aufgrund des linearen Verhalten werden am Anzeiger lediglich die beiden Grenzen eingestellt**



# „Unregelmäßiger“ Tank



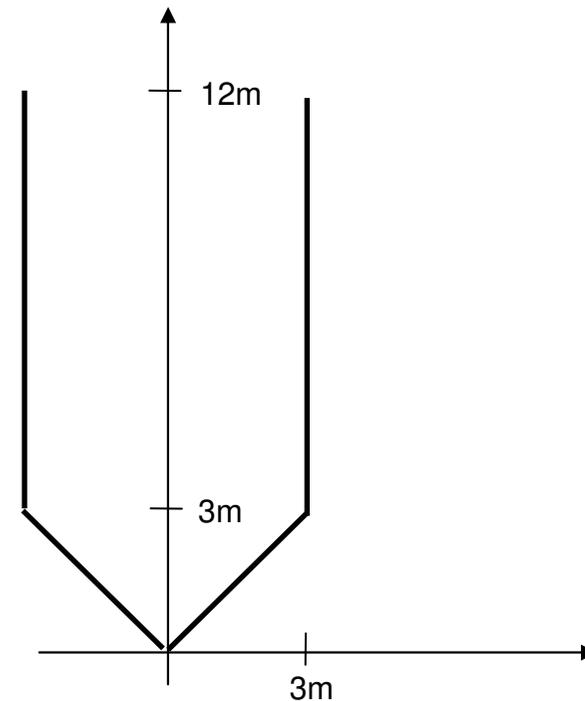
- Auch bei „unregelmässigen“ Tanks kann eine Bestimmung des Volumens über den Druck erfolgen



# Das Beispiel



- Auf den folgenden Seiten wird die Vorgehensweise für einen Tank gezeigt, welcher aus einem Kegel und einem aufgesetzten Zylinder besteht

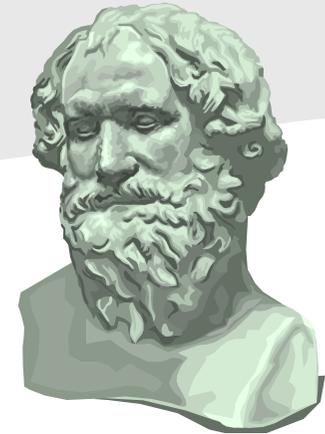
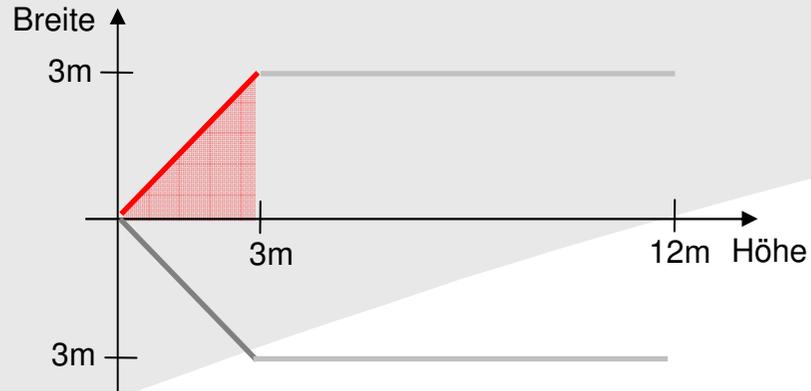


# Kegelvolumen

Volumen in Kegel aufgrund des Niveaus



- **Der Kegel ist ein Rotationskörper**



- **Die Funktion für die Außenseite des Kegels lautet sehr einfach:**

$$f(h) = h$$

- **Für den Rotationskörper gilt:**

$$\text{Volumen} = \pi \cdot \int_0^h h^2 dh$$

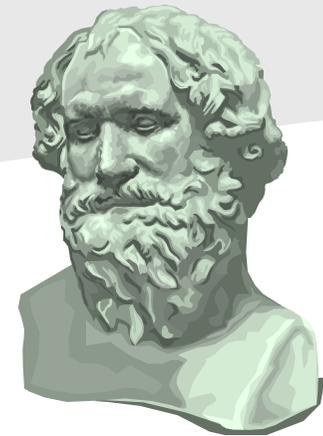
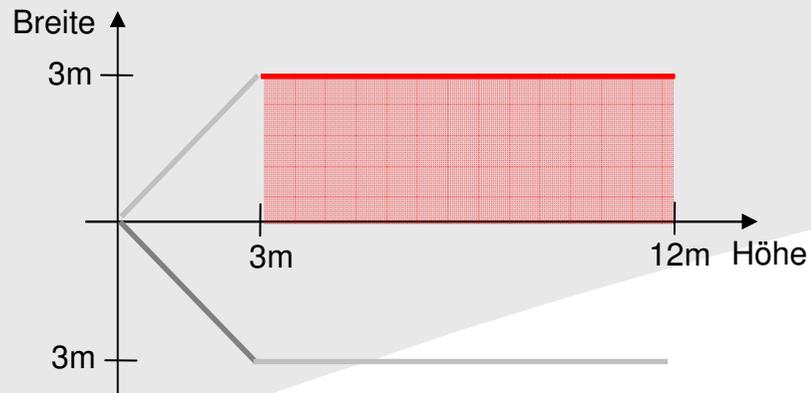
- **Gelöstes Integral für den Kegel:**

$$\text{Volumen} = \frac{\pi}{3} h^3$$



# Zylindervolumen

Volumen des Zylinders aufgrund des Niveaus



- **Die Funktion für die Aussenseite des Zylinders lautet:  $f(h)=3$**

- **Für das Volumen gilt:**

$$\text{Volumen} = \pi \cdot \int_3^h (3\text{m})^2 dh$$

- **Gelöstes Integral für den Zylinder:**  $\text{Volumen} = [\pi \cdot 9\text{m}^2 \cdot h]_3^h$

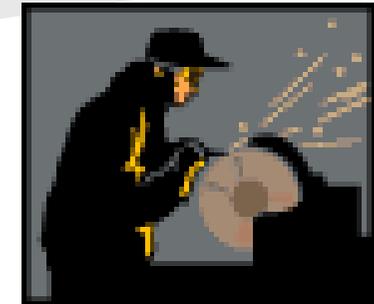
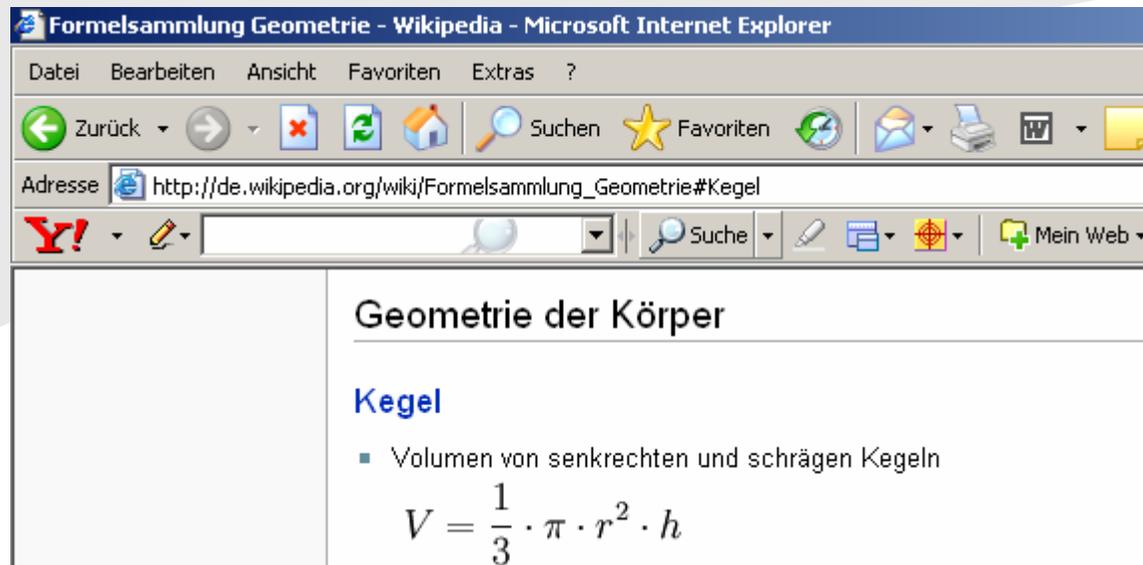


# Zylindervolumen

Volumen des Zylinders aufgrund des Niveaus



- **Der Praktiker entnimmt im Beispiel aus einer Formelsammlung die Gleichungen für die Volumenberechnung (hier Wikipedia)**



## Säulen

- Rundsäule (Zylinder)

- Das Volumen einer Rundsäule setzt sich zusammen aus der Multiplikation der Grundfläche  $g$  (Flächeninhalt eines Kreises:  $\pi \cdot r^2$ ) mit der Höhe  $h$ :  $g \cdot h$

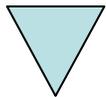


# Funktion

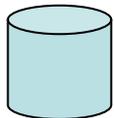


Volumen für gesamten Behälter aufgrund des Niveaus-Stromsignal

- **Aus den Formeln für den Kegel und den Zylinder kann die Gesamtfunktion ermittelt werden**
- **Das Niveau wird letztlich durch das Stromsignal repräsentiert: 4...20mA – 0...2 Bar – 0...20m**
- **Aus diesem Grund ist in der Tabelle das Stromsignal dargestellt**



$$\text{Volumen} = \frac{\pi}{3} h^3$$



$$\text{Volumen} = [\pi \cdot 9\text{m}^2 \cdot h]_3^h$$

Niveau(m)	Signal (mA)	Volumen(cbm)
0	4	0
0,5	4,4	0,13
1	4,8	1,05
1,5	5,2	3,53
2	5,6	8,37
2,5	6	16,35
3	6,4	28,26
12	13,6	282,73



# Kundenspezifische Linearisierung I



Volumen für gesamten Behälter aufgrund des Niveaus

- Mit Hilfe der „Stützstellen“ ermittelt der „Anzeiger“ aus dem Stromsignal das Volumen:

4...20 mA entspricht

0...2 Bar



- Die Stützstellen werden in der so genannten „Kundenspezifischen Linearisierung“ definiert:

Kundenspez. Linearisierung

	I / mA	Y
1	4	0
2	4.4	0.13
3	4.8	1.05
4	5.2	3.53
5	5.6	8.37
6	6	16.35
7	6.4	28.26
8	13.6	282.73

Hinweis:  
Der x-Wert ist der physikalisch gemessene Wert in V, mV, mA, % oder Ohm. Der y-Wert ist der linearisierte Wert, z.B. Temperatur in °C. Messbereichsanfang und -ende des Analogeingangs beziehen sich auf die y-Werte der kundenspezifischen Tabelle.

OK Abbrechen

# Kundenspezifische Linearisierung II



Volumen für gesamten Behälter aufgrund des Niveaus

- Der „Anzeiger“ ermittelt aus dem Stromwert zu jeder Zeit das Volumen im Behälter

